

## Clocked current regulation circuit for inductive load

**Patent number:** DE19743346

**Publication date:** 1999-04-08

**Inventor:** GRAF ALFONS DR ING (DE); TIHANYI JENOE DR ING (DE)

**Applicant:** SIEMENS AG (DE)

**Classification:**


- **international:** H02M3/10; H01F7/18

- **european:** H02M3/156

**Application number:** DE19971043346 19970930

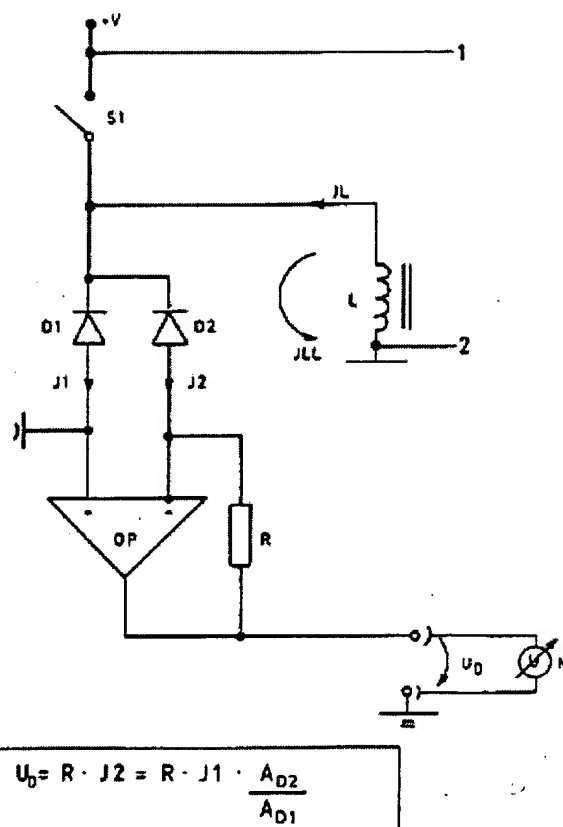
**Priority number(s):** DE19971043346 19970930

**Also published as:**

 **US6181171 (B1)**

### Abstract of DE19743346

The current regulation circuit has a switch (S1) connected in series with the inductive load (L) between the supply voltage terminals (1,2), with a measuring device (M) providing a signal representing the current through the inductive load. A free-running diode (D1) is connected in parallel with the inductive load and is connected in series with a second diode (D2), the junction between them coupled via an operational amplifier (OP) to the measuring device.





①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**  
①⑩ **DE 197 43 346 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 02 M 3/10**  
H 01 F 7/18

②① Aktenzeichen: 197 43 346.4  
②② Anmeldetag: 30. 9. 97  
④③ Offenlegungstag: 8. 4. 99

DE 197 43 346 A 1

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:  
Graf, Alfons, Dr.-Ing., 86916 Kaufering, DE; Tihanyi,  
Jenő, Dr.-Ing., 85551 Kirchheim, DE

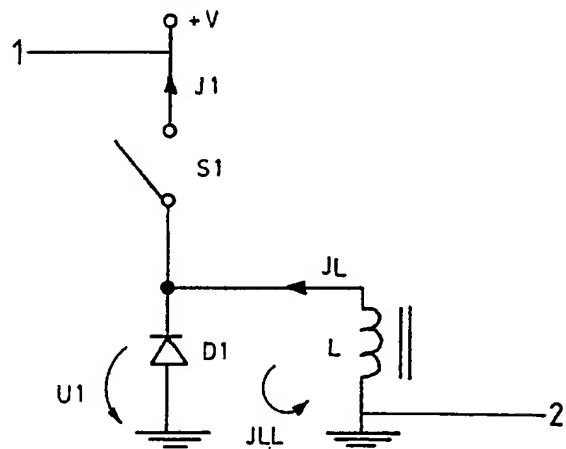
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 91 05 697 U1  
US 56 12 610

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Schaltungsanordnung zur getakteten Stromregelung von induktiven Lasten

⑤⑦ Die Schaltungsanordnung zur getakteten Stromregelung von induktiven Lasten sieht eine parallel zur induktiven Last (L) geschaltete Freilaufanordnung (D1) mit Strommeßeinrichtung (M) vor, um die Strommessung ausschließlich während des Offen-Zustandes der Schalteinrichtung (1) zu bewirken. Ein sonst üblicher Shuntwiderstand und damit verbundene Verlustleistung wird vorteilhafterweise hierdurch vermieden.



DE 197 43 346 A 1

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur getakteten Stromregelung von induktiven Lasten gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Bei der getakteten Stromregelung von induktiven Lasten, wie es z. B. bei der Drehzahlregelung von Gleichstrom-Motoren oder bei Schaltnetzteilen üblich ist, ist es oft erforderlich, die Amplitude des Stromes durch die induktive Last zu messen und abhängig hiervon das Taktverhältnis der Stromregelung einzustellen. Ein Beispiel für eine solche getaktete Stromregelung ist in DE-U- 91 05 697.7 der Anmelderin beschrieben worden. Das in dieser Veröffentlichung beschriebene Schaltnetzteil weist einen in Serie zur Primärwicklung des Übertragers angeordneten Leistungs-MOSFET auf, dem ein sog. Shuntwiderstand in Serie zur Masse hin geschaltet ist. Die an diesem Widerstand abfallende Spannung wird als den Laststrom durch den Leistungs-MOSFET proportionales Signal erfaßt und als Regelsignal der den Leistungs-MOSFET ansteuernden Steuereinrichtung zugeführt.

Problematisch bei dieser Stromerfassung ist der in Serie zum Leistungsschalter vorgesehene Shuntwiderstand, weil dieser Verlustleistung erzeugt. Ein solcher Shuntwiderstand bzw. Serienwiderstand zur induktiven Last war aber bisher die einzige angewandte Möglichkeit, um dem Strom der induktiven Last zu erfassen. Neben der erhöhten Verlustleistung der Schaltungsanordnung mußte ein solcher Shuntwiderstand bisher regelmäßig auch als separates Bauelement, der nicht integrierbar war, vorgesehen werden.

Die vorliegende Erfindung hat deshalb das Ziel, eine Schaltungsanordnung zur getakteten Stromregelung von induktiven Lasten anzugeben, bei der der durch die induktive Last fließende Strom ohne oder zumindest mit verminderter Verlustleistung erfaßbar ist.

Diese Ziel wird durch eine Schaltungsanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die Schaltungsanordnung nach der Erfindung beruht also im wesentlichen darauf, parallel zur induktiven Last eine Freilaufanordnung mit Meßeinrichtung zu schalten, um die Strommessung während des Offen-Zustandes der Schalteinrichtung vorzusehen. Wenn die Schalteinrichtung eingeschaltet wird, steigt bekanntlich der Strom in der induktiven Last an. Nach dem Ausschalten der Schalteinrichtung, also deren Offen-Zustand, kann dagegen der Strom im Freilaufkreis weiterfließen. Der im Freilaufkreis bei abgeschalteter Schalteinrichtung fließende Strom wird erfindungsgemäß detektiert. Dieser Freilaufstrom ist ein Maß für den im eingeschalteten Zustand durch die induktive Last fließenden Strom und kann somit zu erforderlichen Regelzwecken ausgewertet werden.

Der entscheidende Vorteil einer solchen Strommessung im Vergleich zu dem sonst üblichen Shuntwiderstand besteht in der nahezu verlustfreien Möglichkeit, den Strom zu erfassen.

In einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist die Freilaufanordnung durch eine parallel zur induktiven Last geschaltete erste Diode realisiert. Zur Erfassung eines des durch die induktive Last fließenden Stromes ist parallel zu dieser Diode eine zweite Diode geschaltet. Die Kathodenanschlüsse beider Dioden stehen miteinander in Verbindung und sind an einen Anschluß der integrierten Last angeschlossen. Die Anodenanschlüsse beider Dioden sind jeweils an einen anderen Eingang eines Operationsverstärkers geschaltet, an dessen Ausgang ein dem zu messenden Strom entsprechendes Signal durch die Meßeinrichtung erfaßt wird. Der Eingang des Operationsverstärkers, der mit der oben erwähnten zweiten Diode in Verbindung steht, ist über einen ohmschen Widerstand mit dem Ausgang des Operati-

onsverstärkers in Verbindung.

Die oben erwähnten beiden Dioden können auch als geschaltete Dioden, z. B. durch MOSFET, realisiert sein. Zweckmäßigerweise ist hierbei auch die Schalteinrichtung als MOSFET realisiert. Die Ansteuerung der Schalteinrichtung und der geschalteten Dioden, also der insgesamt drei MOSFET, erfolgt durch ein hierfür geeignete Ansteueranordnung.

Die erwähnten beiden Dioden bzw. geschalteten Dioden sind zweckmäßigerweise in einen Halbleiterkörper monolithisch integriert, um eine Temperaturunabhängigkeit der Messung zu gewährleisten.

Die Schaltungsanordnung nach der Erfindung wird nachfolgend im Zusammenhang mit Figuren beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Prinzipschaltbild zum getakteten Ansteuern einer induktiven Last, der ein Freilaufzweig parallel geschaltet ist,

Fig. 2 Strom- und Spannungsverläufe zur Schaltungsanordnung von Fig. 1,

Fig. 3 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung mit Strommeßschaltung nach der Erfindung,

Fig. 4 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung nach der Erfindung mit Strommeßschaltung, und

Fig. 5 ein drittes Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung mit Strommeßschaltung nach der Erfindung.

In den nachfolgenden Figuren bezeichnen, sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Bedeutung.

In Fig. 1 ist das Prinzipschaltbild einer Halbbrückenschaltung mit Freilaufkreis gezeigt. Die Schaltungsanordnung weist zwei Versorgungsspannungsklemmen 1, 2 auf. Die erste Versorgungsspannungsklemme 1 ist an positives Potential +V und die zweite Versorgungsspannungsklemme 2 mit Bezugspotential in Verbindung. Zwischen den beiden Versorgungsspannungsklemmen 1, 2 ist die Serienschaltung einer Schalteinrichtung 1 und einer induktiven Last L angeordnet, wobei die induktive Last L mit der Versorgungsspannungsklemme 2 in Verbindung steht und damit mit einem Anschluß an Bezugspotential gelegt ist. Parallel zur induktiven Last L ist eine Diode D1 als Freilaufdiode geschaltet. Hierfür ist der Kathodenanschluß der Diode D1 mit dem Verbindungspunkt der induktiven Last L und der Schalteinrichtung S1 in Kontakt. Der Anodenanschluß der Diode D1 ist an Bezugspotential geschaltet.

Wie aus den Signalverläufen von Fig. 2 ersichtlich, stellt sich beim Ein- und Ausschalten der Schalteinrichtung S1 ein Stromfluß durch die induktive Last L ein, der von einem vorgegebenen Wert während der Einschaltphasen der Schalteinrichtung S1 langsam ansteigt, um dann während der Ausschaltphasen, also während des Offen-Zustandes der Schalteinrichtung S1, wieder leicht abzufallen. Wird die Schalteinrichtung S1 wieder geschlossen, wiederholt sich der Vorgang und der Strom I steigt wieder leicht an bis zum Abschalten der Schalteinrichtung S1.

Der Stromfluß während der Ausschaltphasen der Schalteinrichtung S1 wird durch den durch die Diode D1 gebildeten Freilauf 2 sichergestellt. Bei ausgeschalteter Schalteinrichtung S1 kann nämlich der von der induktiven Last L gespeicherte Strom über die Diode D1 nach Bezugspotential abfließen. Während der Einschaltphasen der Schalteinrichtung S1 fällt an der Diode D1 eine Spannung U1 ab, die etwa dem Versorgungsspannungspotential +V entspricht. Ist die Schalteinrichtung S1 dagegen ausgeschaltet, fällt an der Diode D1 etwa eine Spannung von -0,7 Volt ab.

Die Erfassung des Stromes erfolgt während den Offen-Zuständen der Schalteinrichtung S1 beispielhaft in folgender Art und Weise.

In Fig. 3 ist parallel zur Diode D1 eine zweite Diode D2

geschaltet. Der Kathodenanschluß dieser zweiten Diode D2 ist mit dem Kathodenanschluß der Diode D1 in Verbindung und damit ebenfalls an den Verbindungspunkt der Schalteinrichtung S1 und der induktiven Last L geschaltet. Der Anodenanschluß der Diode D1 ist mit dem nicht invertierenden Eingang und der Anodenanschluß der Diode D2 mit dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers OP in Verbindung. Der invertierende Eingang des Operationsverstärkers OP ist zusätzlich über einen ohmschen Widerstand R mit dem Ausgang des Operationsverstärkers OP in Kontakt. Am Ausgang des Operationsverstärkers OP ist eine Meßeinrichtung M anschließbar, die bezogen auf das Bezugspotential die Spannung am Ausgang des Operationsverstärkers OP erfaßt. Das am Ausgang des Operationsverstärkers OP anstehende Spannungssignal ist ein Maß für den durch die induktive Last L fließenden Strom und kann deshalb zu Regelzwecken bei einer getakteten Ansteuerung der Schalteinrichtung S1 herangezogen werden.

Die Diode D2 ist kleiner dimensioniert als die Diode D1, d. h. daß die wirksame Diodenfläche der Diode D2 ist kleiner als die wirksame Diodenfläche der Diode D1 ausgebildet. Forciert man durch diese zweite Diode D2 so viel Strom, daß die Anodenspannung die Diode D2 auch 0 Volt beträgt, entsteht folgender Zusammenhang:

$$I_1/I_2 = A_{D1}/A_{D2},$$

wobei  $I_1$  der durch die Diode D1 fließende Strom und  $I_2$  der durch die Diode D2 fließende Strom ist.  $A_{D1}$  entspricht der wirksamen Diodenfläche der Diode D1 und  $A_{D2}$  der wirksamen Diodenfläche der Diode D2.

Darüber hinaus gilt auch folgender Zusammenhang:

$$U_0 = R \cdot I_2 = R \cdot I_1 \cdot A_{D2}/A_{D1}.$$

Die Dioden D1 und D2 sind vorzugsweise in einen gemeinsamen Halbleiterkörper monolithisch integriert, um die oben erwähnte Proportionalität der Ströme  $I_1/I_2$  temperaturunabhängig zu gewährleisten.

In Fig. 4 ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung dargestellt. Im Gegensatz zur Schaltungsanordnung von Fig. 3 ist die induktive Last L jetzt mit einer Klemme direkt an die Versorgungsspannungsklemme 1 und damit an positives Potential +V und mit dem anderen Anschluß über die Schalteinrichtung S1 an Bezugspotential und damit die Versorgungsspannungsklemme 2 geschaltet. Der Anodenanschluß der Diode D1 ist jetzt mit dem Verbindungspunkt der Schalteinrichtung S1 und der induktiven Last L in Kontakt. Die Kathodenanschlüsse der beiden Dioden D1 und D2 sind einerseits mit der Versorgungsspannungsklemme 1 und andererseits mit dem nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers OP verbunden. Der Anodenanschluß der Diode D2 ist, wie auch in Fig. 3, mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers OP und mit einem Anschluß des ohmschen Widerstandes R in Kontakt. Der andere Anschluß des ohmschen Widerstandes R ist wiederum mit dem Ausgang des Operationsverstärkers OP in Verbindung. Die Meßeinrichtung M ist dazu vorgesehen, den zwischen der Versorgungsspannungsklemme 1 und dem Ausgang des Operationsverstärkers OP bestehenden Spannungsunterschied zu messen.

Fig. 5 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel. Die im Zusammenhang mit den Fig. 2 und 4 erläuterten Dioden D1, D2 sind jetzt durch geschaltete Dioden ersetzt, indem zwei MOSFET T1, T2 vorgesehen sind. Die beiden Drainanschlüsse D der MOSFET T1, T2 sind mit der Schalteinrichtung S1 in Verbindung. Der Sourceanschluß S des MOSFET

T1 ist mit dem nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers OP und der Sourceanschluß des MOSFET T2 mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers OP in Kontakt. Die Drain-Source-Strecken der beiden MOSFET T1, T2 sind jeweils durch Schutzdioden DS überbrückt. Die Gateanschlüsse G beider MOSFET T1, T2 sind miteinander in Verbindung und mit einer in Fig. 5 der besseren Übersichtlichkeit wegen nicht dargestellten Ansteuerung in Verbindung. Die Ansteuerung sorgt dafür, daß im ausgeschalteten Zustand der Schalteinrichtung S1 die MOSFET T1, T2 eingeschaltet werden, um ein Freilaufen des zuvor durch die induktive Last L fließenden Stromes sicherzustellen.

Wie in Fig. 5 angedeutet, kann die Schalteinrichtung S1 ebenfalls durch einen MOSFET realisiert sein.

Strichliert ist in Fig. 5 die Möglichkeit angedeutet, den die Schalteinrichtung S1 bildenden MOSFET und die beiden MOSFET T1, T2 in einen gemeinsamen Halbleiterkörper als integrierten Schaltkreis 50 zu integrieren. Ein solcher integrierter Schaltkreis 50 muß von außen zugängliche Anschlußklemmen a, b, c, d, e und f aufweisen, um einerseits die Ansteuermöglichkeit der Schalteinrichtung S1 und der MOSFET T1, T2 über die Klemmen e und f sicherzustellen und andererseits Anschlußmöglichkeiten für die induktive Last L und den Operationsverstärker OP zu gewähren.

Das Stromverhältnis durch die MOSFET T1, T2 entspricht dem Verhältnis der Zellenzahl  $N_{T1}/N_{T2}$ , also

$$I_1/I_2 = N_{T1}/N_{T2}.$$

#### Bezugszeichenliste

- 1 Versorgungsspannungsklemme
- 2 Versorgungsspannungsklemme
- 50 integrierter Schaltkreis
- a . . . f Klemmen
- D Drainanschluß
- D1 Diode
- D2 Diode
- G Gateanschluß
- I1 Strom
- I2 Strom
- IL Laststrom
- ILL Freilaufstrom
- L induktive Last
- M Meßeinrichtung
- OP Operationsverstärker
- R Widerstand
- S Sourceanschluß
- S1 Schalteinrichtung
- t Zeit
- T1 Transistor
- T2 Transistor
- V0 Spannung
- V1 Spannung

#### Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zur getakteten Stromregelung von induktiven Lasten (L) mit einer zwischen zwei Versorgungsspannungsklemmen (1, 2) geschalteten Reihenschaltung einer Schalteinrichtung (S1) und einer induktiven Last (L) sowie mit einer Meßeinrichtung (M) zum Erfassen eines den Strom durch die induktive Last (L) entsprechenden Signals, **dadurch gekennzeichnet**, daß parallel zur induktiven Last (L) eine Freilaufanordnung (D1) und die Meßeinrichtung (M) geschaltet ist zur Strommessung während des Of-

- fen-Zustandes der Schalteinrichtung (S1).
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Freilaufanordnung (D1) eine parallel zur induktiven Last (L) geschaltete erste Diode (D1) aufweist. 5
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zur ersten Diode (D1) eine zweite Diode (D2) geschaltet ist, daß die Kathodenanschlüsse (K) der beiden Dioden (D1, D2) miteinander verbunden und gemeinsam an eine Klemme der induktiven Last (L) geschaltet sind, und daß die Anodenanschlüsse beider Dioden (D1, D2) an jeweils eine andere Eingangsklemme eines Operationsverstärkers (OP) geschaltet sind, und daß am Ausgang des Operationsverstärkers (OP) ein dem durch die induktive Last (L) fließenden Strom entsprechendes Signal in der Meßeinrichtung (M) erfaßbar ist. 10
4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Ausgang des Operationsverstärkers (OP) und dem Eingang, an dem die zweite Diode (D2) geschaltet ist, ein ohmscher Widerstand (R) geschaltet ist. 20
5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die wirksame Diodenfläche der zweiten Diode (D2) kleiner als die wirksame Diodenfläche der ersten Diode (D1) ausgebildet ist. 25
6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Dioden (D1, D2) als geschaltete Dioden durch Transistoren (T1, T2) gebildet sind. 30
7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die induktive Last (L) mit einem Anschluß an die an Bezugspotential zu legende Versorgungsspannungsklemme (2) und mit dem anderen Anschluß über die Schalteinrichtung (S1) an die an positives Versorgungspotential zu legende Versorgungsspannungsklemme (1) geschaltet ist. 35
8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die induktive Last (L) mit einem Anschluß an die an positives Versorgungspotential zu legende Versorgungsspannungsklemme (1) und mit dem anderen Anschluß über die Schalteinrichtung (S1) an die an Bezugspotential zu legende Versorgungsspannungsklemme (2) geschaltet ist. 40
9. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung (S1) als Leistungs-Halbleiterschalter und insbesondere als Leistungs-MOSFET ausgebildet ist. 45
10. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalteinrichtung (S1) und die Dioden (D1, D2) in einen gemeinsamen Halbleiterkörper als integrierter Schaltkreis (50) integrierend angeordnet sind. 50

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

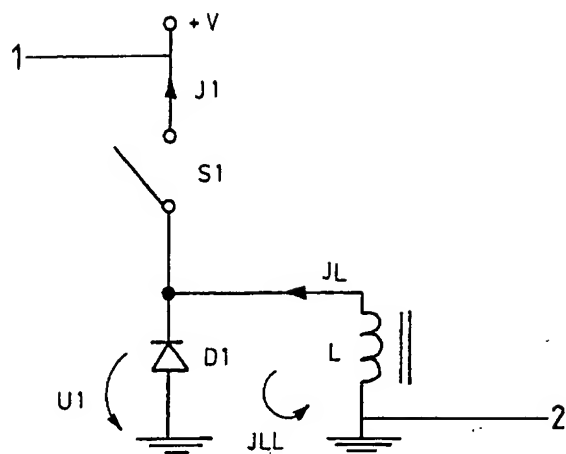


Fig. 1

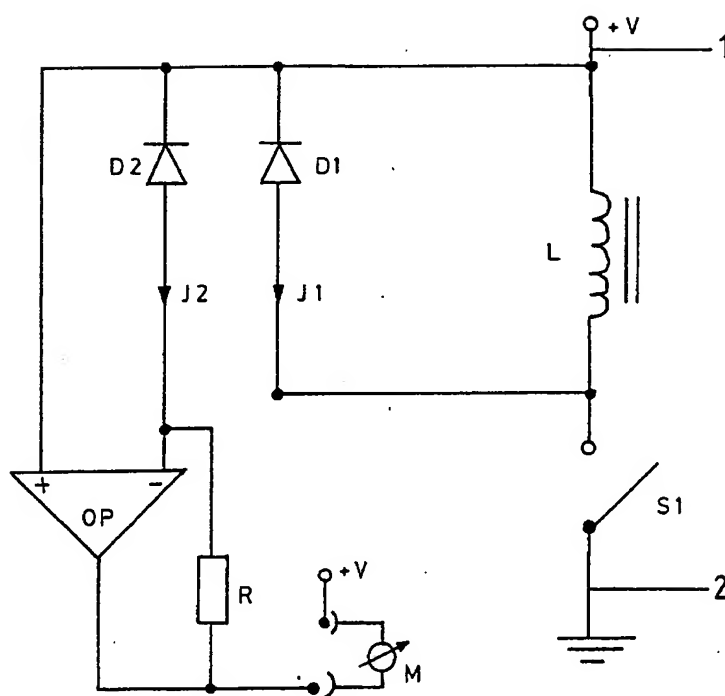


Fig. 4

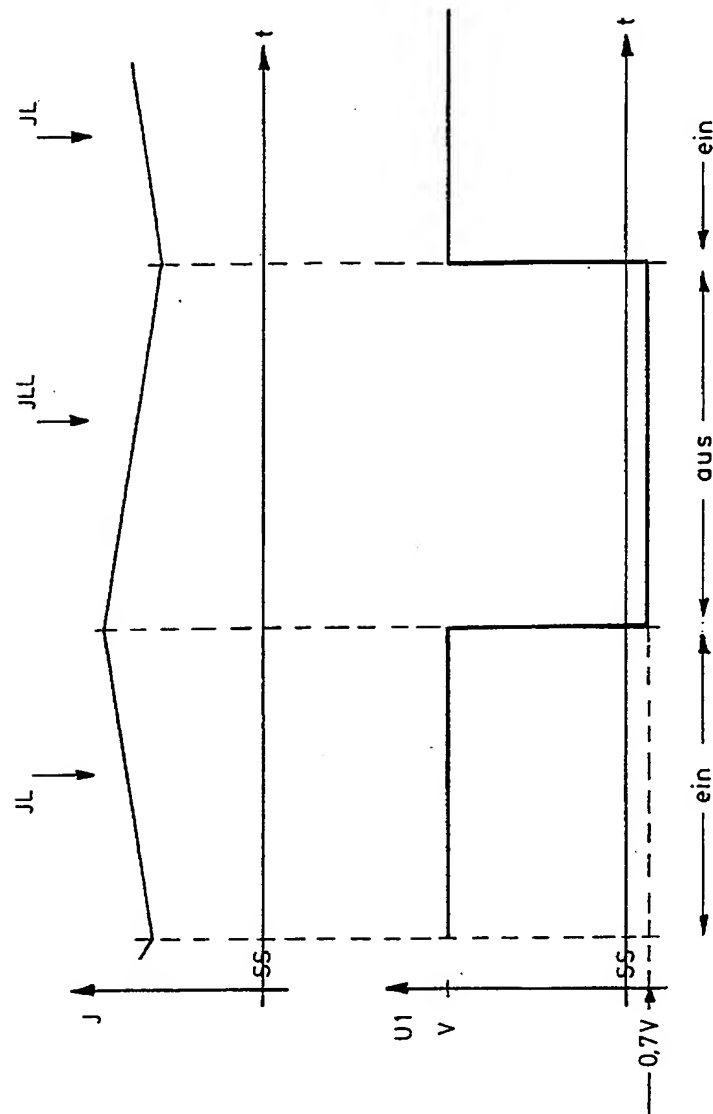
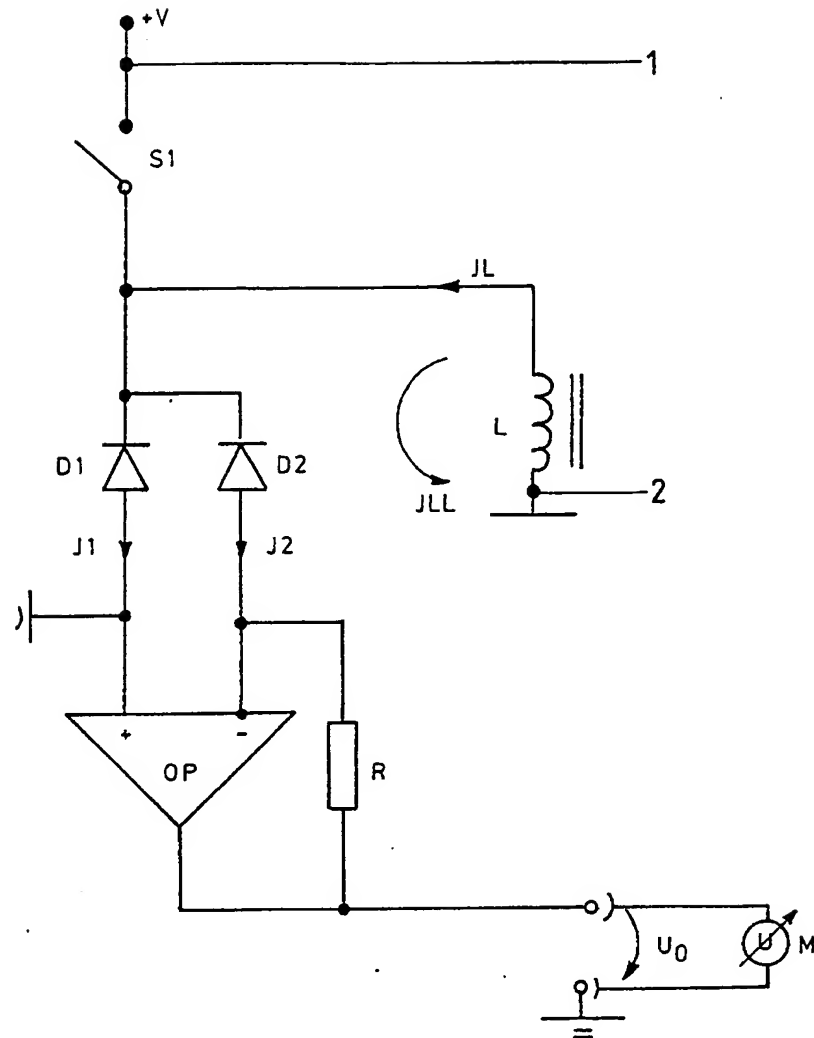


Fig. 2



$$U_0 = R \cdot J2 = R \cdot J1 \cdot \frac{A_{D2}}{A_{D1}}$$

Fig. 3



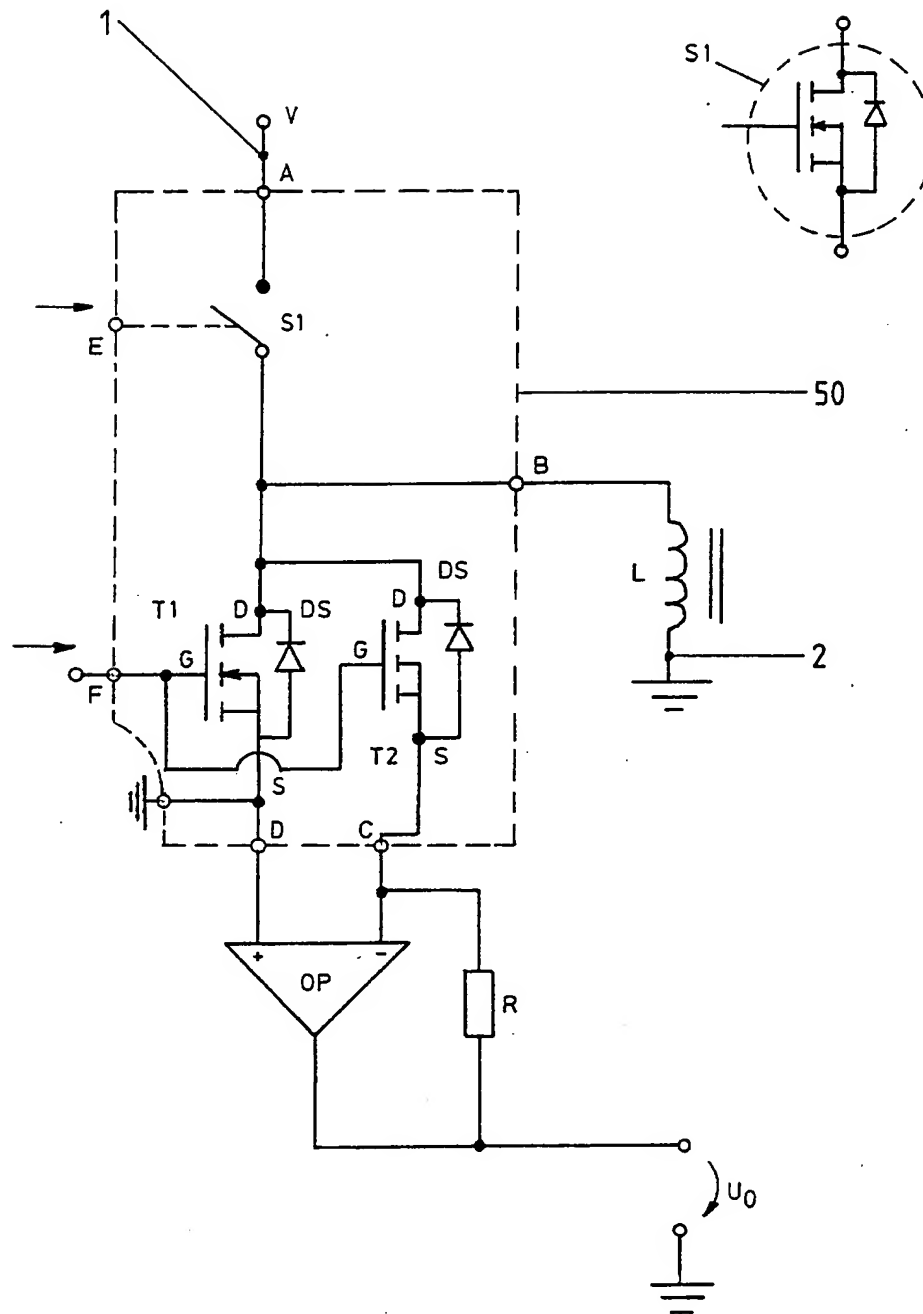


Fig. 5